

Zastosowanie bezpłatnych wersji programów do drukowania modeli kości

The application of free versions of programs to print models of bones

JAKUB PIĘKOŚ
KAROL DOMINIAK
PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.4.45

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAX 2015

Opisano zastosowanie bezpłatnych wersji programów do opracowywania modeli 3D z danych DICOM i przygotowywania plików STL do druku 3D modelu fizycznego kości na potrzeby planowania zabiegów chirurgicznych. Przeanalizowano odchyłki pomiędzy modelem siatkowym z DICOM a plikiem STL do druku 3D.

SŁOWA KLUCZOWE: DICOM, druk 3D, odchyłki

The article explains how the free of charge software can be applied to develop 3D models from DICOM data, and then used to prepare the STL files as necessary to print 3D physical models of the jaw bone making it possible to plan surgical procedures. Deviations, as they reveal between a 3D mesh model from DICOM and the STL file for 3D printing are reviewed.

KEYWORDS: DICOM, additive manufacturing, deviations

Dzięki rozwojowi technik obrazowania struktur anatomicznych ludzkiego ciała oraz technologii przyrostowych (druku 3D) coraz częściej do planowania zabiegów chirurgicznych wykorzystuje się modele fizyczne. Dzieje się tak w wielu ośrodkach na świecie. Prace badawcze nad sposobami modelowania geometrii modeli 3D są prowadzone także na wielu polskich uczelniach [1÷3]. Proces przygotowania tego typu pomocy medycznych jest dość złożony i wieloetapowy, a jego rezultat zależy od zastosowanego oprogramowania i doświadczenia użytkownika.

Jednym z najbardziej znanych programów do opracowywania wirtualnych modeli 3D na podstawie obrazów DICOM [4] jest Mimics firmy Materialise [5]. Umożliwia on wczytywanie plików DICOM z tomografii komputerowej, obrazowania metodą rezonansu magnetycznego, ultrasonografii 3D czy mikroskopii konfokalnej. Mimics jest bardzo rozbudowany, a jego jakość potwierdzają specjalne certyfikaty medyczne, ale jednocześnie jest bardzo drogi i przez to niedostępny dla wielu polskich ośrodków medycznych czy uczelniowych. Ponadto na potrzeby wykonywania modeli fizycznych kości użytkownik wykorzystuje tylko niewielką część jego możliwości. Są też inne programy o podobnym przeznaczeniu, m.in. bezpłatne 3D Slicer czy InVesalius.

W ramach prac przetestowano oba wymienione systemy do tworzenia modeli 3D z obrazów DICOM, a następnie programy do opracowania plików STL na potrzeby druku 3D – MeshLab oraz GOM Inspect. Przeprowadzono analizę odchyłek pliku STL do druku 3D od modelu siatkowego z DICOM.

Omówiono przykład zastosowania tych programów do wykonania w technologii przyrostowej modelu fizycznego

kości żuchwy, na którym lekarze mogą przed operacją poprawnie dopasować tytanowe płyty rekonstrukcyjne. Cały proces przedstawiono w postaci głównych kroków:

- otrzymanie modelu 3D z DICOM,
- poprawienie modelu siatkowego,
- zaprogramowanie wydruku 3D w programie CAM,
- wydrukowanie fizycznego modelu.

Otrzymanie modelu 3D z DICOM

Proces tworzenia trójwymiarowych modeli anatomicznych rozpoczyna się od zaimportowania serii obrazów DICOM. Wykorzystano komputerową tomografię spiralną o gęstości przekrojów 2 mm wykonaną za pomocą urządzenia BrightSpeed firmy GE Healthcare. Pliki DICOM opracowano w darmowym systemie InVesalius [7], dostępnym na licencji „GNU GPL 2” [6].

Kluczowym etapem pracy w każdym systemie do obróbki danych DICOM jest określenie płaskich masek, które pozwalają na oddzielenie stref oznaczających kości od tkanek miękkich. Realizuje się to poprzez wyznaczenie zakresu wartości progowych szarości. Po nałożeniu masek i wyodrębnieniu określonych obszarów oraz utworzeniu trójwymiarowego modelu powierzchniowego należy wyeksportować go do pliku STL. Dzięki temu możliwa będzie dalsza obróbka uzyskanej postaci siatkowej, która zawiera jeszcze wiele błędów i nie może być podstawą do wykonania wydruku 3D. Duży wpływ na dokładność modelu otrzymanego z plików DICOM – poza sposobem wydzielania analizowanych obszarów zainteresowania – ma gęstość warstw przekrojów wykorzystanych podczas tomografii.

Oczyszczanie i naprawa modelu siatkowego

Postać siatkową otrzymaną poprzez konwersję serii obrazów DICOM trzeba dostosować do wymagań stawianych przez lekarzy i wynikających z wybranej techniki drukowania przestrzennego. Wykorzystano do tego dwa bezpłatne programy: MeshLab i GOM Inspect.

MeshLab [8] to zaawansowany program do przetwarzania siatek trójkątów, działający na zasadach licencji „GNU GPL” [6]. Usuwa się w nim potencjalne błędy w strukturze geometrii siatkowej: artefakty oraz błędy powstałe podczas konwertowania serii obrazów DICOM na przestrzenny model siatkowy.

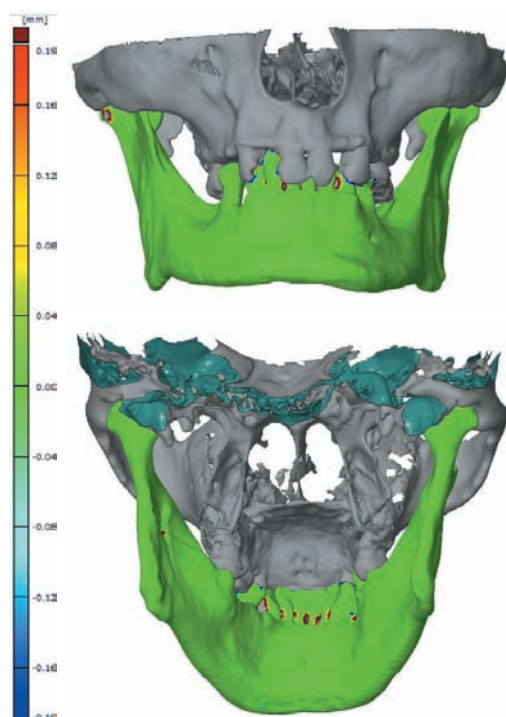
Fragmenty siatki utracone na etapie konwertowania obrazów DICOM na model siatkowy oraz podczas jego poprawiania uzupełniono z wykorzystaniem darmowej wersji programu GOM Inspect [9], który można pobrać (po rejestracji) ze strony producenta. Naprawa siatki trójkątów jest niezbędna, ponieważ usunięcie jej fragmentu powoduje powstanie nieciągłości powierzchni. Takie błędy w siatce nie pozwalają na jej użycie do programowania drukarki 3D.

* Jakub Piękoś (j.a.piekos@gmail.com) – Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej; lek. dent. Karol Dominiak (kr.dominiak@gmail.com) – Oddział Chirurgii Szcękowej Miejskiego Szpitala Zespołowego w Olsztynie; dr inż. Przemysław Siemiński (psieminski@simr.pw.edu.pl) – Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej

Analiza odchyłek i druk modeli 3D

W oprogramowaniu GOM Inspect przeprowadzono analizę odchyłek – gotowego do druku pliku STL od modelu bezpośrednio uzyskanego w InVesalius. Model z DICOM zawierał błędy pomiaru wykonanego za pomocą tomografii komputerowej. Segmentacja była przeprowadzana pod nadzorem lekarza, który pilnował, aby uzyskany kształt kości był poprawny. Kość żuchwy jest gruba (w przeciwieństwie np. do kości oczodołu), wobec tego łatwiej jest otrzymać pełne odwzorowanie jej kształtu. Sprawdzano wpływ modelowania geometrii siatkowej w programach MeshLab i GOM Inspect na stopień jej odwzorowania.

Jako model referencyjny do analizy odchyłek w GOM Inspect wybrano model z DICOM z programu InVesalius, a jako obiekt testowy wskazano gotowy do druku plik STL.



Rys. 1. Mapy odchyłek wykonane w GOM Inspect: jako model referencyjny przyjęto siatkę wygenerowaną z DICOM, a jako model testowy – naprawioną siatkę STL przygotowaną do wykonania wydruku 3D



Rys. 2. Model fizyczny żuchwy wykonany z ABS metodą FDM

Na mapach odchyłek (rys. 1) widać zmiany geometrii zachodzące na skutek jej modyfikowania i naprawiania. Maksymalne zaobserwowane odchyłki mieściły się w zakresie $\pm 0,2$ mm, przy czym dotyczyło to tylko kilku miejsc (w większości pomiędzy zębami). Zdecydowana większość powierzchni zewnętrznych modelu kości żuchwy prawie się pokrywała – różnica pomiędzy modelem referencyjnym a testowym była mniejsza niż $\pm 0,04$ mm, co oznacza bardzo dobre odwzorowanie pliku STL do druku względem modelu 3D uzyskanego z plików DICOM. Na szaro zaznaczono obszary, na których odchyłki wykroczyły poza zdefiniowany zakres. W ten sposób pokolorowano kości nosowe, jarzmowe i szczęki, bo ich geometria była wczytana razem z modelem referencyjnym, a w modelu testowym ich nie było.

Model żuchwy w postaci zamkniętej, powierzchniowej geometrii siatkowej zapisano w pliku STL i wczytano do oprogramowania generującego ścieżki ruchów drukarki 3D. Model fizyczny żuchwy wykonano metodą przyrostową FDM [10] z tworzywa termoplastycznego ABS (rys. 2), na maszynie prototypującej Dimension 1200BST firmy Stratasys. Taki model fizyczny może być bardzo pomocny dla lekarzy przygotowujących się do operacji. Można np. wygiąć na nim tytanową płytę rekonstrukcyjną, która przed wniesieniem na salę operacyjną zostanie wysterylizowana.

Podsumowanie

Otrzymane opisanym sposobem modele STL do druku 3D oraz wydrukowane z ich pomocą modele fizyczne dobrze odwzorowywały anatomię. Potwierdzili to lekarze chirurdzy, którzy korzystali z nich podczas przygotowań do operacji.

Ze względu na ograniczenia finansowe polskich szpitali warto zwrócić uwagę na bezpłatne wersje programów do opracowywania fizycznych modeli kości, ponieważ pozwalają one na przygotowanie poprawnych i wystarczająco dokładnych wirtualnych modeli STL, które umożliwiają wydruk przestrzennych modeli praktycznie każdą techniką przyrostową.

Składamy serdeczne podziękowanie pani lek. med. Annie Bromirskiej-Małyszko – koordynator Oddziału Chirurgii Szczękowej Miejskiego Szpitala Zespołowego w Olsztynie, która udostępniła użyte w analizach próbki DICOM.

LITERATURA

1. Budzik G., Dziubek T., Markowska O., Turek P. „Wpływ zmiany grubości warstwy na dokładność odwzorowania geometrii żuchwy wykonanej metodą FDM”. *PAK – Pomiary, Automatyka, Kontrola*. Nr 12 (2014): s. 1174÷1177.
2. Muzalewska M., Szczodry B., Samolczyk-Wanyura D., Wyleżół M. „Komputerowe wspomaganie i technologie generatywne w planowaniu zabiegów rekonstrukcji twarzowej części czaszki”. *Modelowanie Inżynierskie*. Nr 52, s. 147÷153.
3. Cykowska-Błasiak M., Ozga P. „Wydruk 3D jako narzędzie do planowania zabiegów ortopedycznych”. *Budownictwo i Architektura*. T. 14, nr 1 (2015): s. 15÷23.
4. Pięta E. „Standard DICOM w archiwizacji i transmisji obrazów medycznych”. *VI Konferencja „Sieci komputerowe”*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1414, Informatyka. Z. 36. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 1999, s. 651÷660, bibliogr. 12.
5. www.biomedical.materialise.com/mimics (dostęp: 23.11.2015).
6. www.gnu.org/licenses/gpl.html (dostęp: 23.11.2015).
7. www.cti.gov.br/invesalius/ (dostęp: 23.11.2015).
8. www.meshlab.sourceforge.net/ (dostęp: 23.11.2015).
9. www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html (dostęp: 23.11.2015).
10. Budzik G., Siemiński P. „Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015.